

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.04.017

覆盖和草篱对红壤坡耕地花生生长和土壤特性的影响

郑海金^{1,2} 杨洁^{1,2} 黄鹏飞^{1,2} 万佳蕾^{1,2} 王凌云^{1,2} 赵佳鼎^{1,2}

(1. 江西省土壤侵蚀与防治重点实验室, 南昌 330029; 2. 江西省水土保持科学研究院, 南昌 330029)

摘要: 开展了稻草覆盖和香根草篱控制红壤旱坡地水土流失的长期定位试验, 研究了香根草篱、稻草覆盖、香根草篱+稻草覆盖3种类型的水土保持耕作措施和常规耕作对红壤旱坡地土壤物理学、化学、生物学特性和花生生长、产量的影响。结果表明, 香根草篱+稻草覆盖和稻草覆盖措施实施5 a后仍能促进花生花荚期茎、叶、根、果生长发育, 与常规耕作相比, 花生增产明显, 增产量为460.65~761.11 kg/hm², 增产率为6.19%~20.32%; 香根草篱措施虽然没有明显地促进花生生长和产量, 但其减流减蚀效果显著, 综合效益仍优于常规耕作。稻草覆盖和香根草篱及其组合措施建立5 a后, 与常规耕作相比, 3种类型的水土保持耕作措施土壤化学性状均有不同程度的提高, 并以香根草篱+稻草覆盖措施的提高效果最明显; 香根草篱+稻草覆盖措施下土壤小于2 μm的微团聚体含量和土壤主要微生物类群总量明显高于常规耕作, 改善了土壤物理结构, 提高了土壤微生物活性。表明稻草覆盖和香根草篱等水土保持耕作措施是适合红壤旱坡地农业可持续发展的有效模式, 其中香根草篱+稻草覆盖组合模式在土壤质量改善和作物增产效果方面尤为突出。

关键词: 红壤坡耕地; 稻草覆盖; 香根草篱; 土壤质量; 花生产量

中图分类号: S157.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)04-0119-08

Effects of Straw Mulching and Vetiver Grass Hedgerows on Peanut Growth and Soil Property in Red Soil Sloping Field

Zheng Haijin^{1,2} Yang Jie^{1,2} Huang Pengfei^{1,2} Wan Jialei^{1,2} Wang Lingyun^{1,2} Zhao Jiading^{1,2}

(1. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Soil Erosion and Prevention, Nanchang 330029, China

2. Jiangxi Institute of Soil and Water Conservation, Nanchang 330029, China)

Abstract: The study is aimed to identify the law of how soil property and peanut growth respond to soil and water conservation (SWC) tillage in order to provide a scientific basis for preventing soil erosion, improving soil fertility and increasing peanut yield in red soil sloping land. The impacts of three types of SWC tillage practices, namely vetiver grass hedgerows (VH), straw mulching (SM) and vetiver grass hedgerows plus straw mulching (VH + SM), on soil property and peanut yield were examined and compared with conventional tillage (CT) through a long-term located experiment in sloping land of red soil. Results showed that after five years of the experiment, VH + SM and SM treatments could still promote the growth of stem, leaf, root and fruit of its in peanut flowering and podding periods, and created significant peanut yield increments of 460.65 kg/hm² and 761.11 kg/hm² with increasing rates of 6.19% and 20.32%, respectively, compared with CT. Although VH treatment had no obvious influence on promoting peanut growth and yield, its effect on reducing erosion was remarkable, and thus its comprehensive benefit were still better than that of CT. The three SWC tillage practices all improved the chemical properties of soil to some extent compared with CT. Among them, VH + SM treatment exhibited

收稿日期: 2015-08-12 修回日期: 2015-11-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(41401311)、水利部公益性行业科研专项经费项目(20120225)、江西省重点科技成果转化计划项目(20133ACI90004)、江西省水利科技项目(KT201421)和江西省赣鄱英才555工程项目

作者简介: 郑海金(1978—),女,高级工程师,博士,主要从事水土保持与坡地养分循环研究,E-mail: haijinzhang@163.com

通信作者: 杨洁(1958—),女,教授级高级工程师,博士,主要从事水土保持和森林培育研究,E-mail: zljy@126.com

the best performance, and increased the soil organic matter, total nitrogen and available phosphorus contents by 36.81%, 64.03%, and 43.50%, respectively. Under VH + SM tillage practice, the soil microaggregate (with diameter less than 2 μm) content and the total amount of main microbial population were significantly higher than those under CT, indicating that soil physical structure and microbial activity were improved. Hence, the SWC tillage practices were fit for sustainable agricultural development in arid sloping land of red soil in South China. Especially, the combination mode of vetiver grass hedgerows plus straw mulching had outstanding effect on improving soil quality and crop yield.

Key words: red soil sloping land; straw mulching; vetiver grass hedgerows; soil quality; peanut yield

引言

南方红壤丘陵区是我国水土流失范围最广、土壤侵蚀程度较高的地区,其严重程度仅次于黄土高原区,是我国治理水土流失的重点区域之一^[1]。坡耕地是南方红壤丘陵区重要的土壤资源,该区水、热、光资源丰富,是我国重要的农业生产区域。但长期以来由于不合理开垦利用和降水时空分布不均匀,该区坡耕地水土流失严重,生态环境恶化,农产品质量下降^[1-3]。由水土流失引起的土地生产力急剧下降,已经成为我国南方农业可持续发展的主要制约因子之一^[4-5]。因此,采取适宜的水土保持措施,减少红壤坡耕地水、土、肥流失,既可以防治水土流失,改善生态环境,又可以提高土地生产力,增加作物产出。

以秸秆地面覆盖、等高植物篱为代表的保护性耕作措施的水土保持效果良好,被认为是坡耕地水土流失防治的有效措施。多年来,秸秆覆盖和植物篱等耕作措施的水土保持、土壤改良、面源污染控制、有机碳固存、作物增产等效应是研究的热点^[6-18],取得了一系列的研究成果。李明德等^[12]通过田间试验,研究了5种耕作方式下土壤理化性状及玉米产量,得出了丘陵区红壤旱地采用翻耕+秸秆深埋的耕作方式,对改良土壤理化性状、提高经济效益有重要意义;彭春瑞等^[13]通过江西典型旱地4年定位试验,研究秸秆覆盖还田对土壤质量演变及作物产量的影响,得出红壤旱地作物行间秸秆覆盖还田有利于促进作物根系和地上部生长,可提高作物产量;林超文等^[14]利用长期定位小区试验,研究了牧草植物篱对紫色土坡耕地水土流失及土壤肥力空间分布的影响,指出在坡耕地管理上应特别加强篱下土壤带的培肥,以提高坡面整体生产能力;蒲玉琳等^[15]基于植物篱控制水土流失的长期定位试验,研究了植物篱-农作坡地土壤团聚体组成和稳定性特征,得出与常规等高农作模式相比,植物篱-农作复合农业模式增强了土壤团聚体的稳定性和抗蚀性。然而,上述研究大多集中在秸秆覆盖和植物篱

等单一措施方面,对秸秆覆盖与植物篱组合措施的研究较少;在土壤改良方面对土壤固持水分、增加土壤养分、改善土壤结构等常规理化性状的分析很多,而对土壤微生物和酶活性等生物学性状的研究较少。

稻草秸秆覆盖和香根草植物篱控制红壤坡耕地水土保持的效果已有报道^[2],本文在此基础上,进一步研究稻草覆盖、香根草篱及二者结合对土壤物理学、化学、生物学性状和作物生长、产量的影响,以期对不同水土保持耕作措施在改良土壤结构、提升土壤肥力、增加作物产量方面有更全面、深入的认识和了解,为筛选更利于红壤坡耕地水土流失防治、土壤肥力提升和作物增产增效的管理模式提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验在江西省红壤研究所水土保持试验站(116°20'24"E,28°15'30"N)进行。该区属中亚热带季风气候,气候温和,雨量丰富,日照充足,无霜期长,年均降水量1 537 mm,年蒸发量1 100~1 200 mm;干湿季节明显,3—6月份为雨季,降水量占全年降水量的61%~69%;7—9月份为旱季,蒸发量占全年蒸发量的40%~59%;年均气温17.7~18.5℃,无霜期282 d,日照时数1 900~2 000 h。地形为典型低丘(海拔高度25~30 m),土壤为第四纪红黏土母质发育的红壤旱地,质地较黏重,肥力中等^[2,19]。

1.2 试验设计

在土层厚度均匀、土壤理化特性较一致、坡度较均一的同一坡面上布设12个径流小区,各小区水平投影面积为120 m²(宽5 m、长24 m),坡度为5.6°,成土母质为第四纪红黏土。在各小区周边设置混凝土砖砌围埂,围埂高出地表30 cm、地下埋深45 cm,以阻挡小区外部径流。各小区下部修筑横向集水槽,并通过PVC塑胶管引入径流池,以承接径流泥沙。

种植红壤旱坡地主栽作物花生,供试品种为粤

油 991, 设置 4 个处理: 常规耕作(对照), 翻耕后等高种植花生 72 行, 株、行距分别为 20 cm、32 cm; 稻草覆盖, 在常规耕作处理的基础上, 均匀覆盖干稻草 4 500 kg/hm²; 香根草篱, 翻耕后等高种植花生 66 行(其余 6 行为草篱), 株、行距分别为 20 cm、32 cm, 香根草(*Vetiveria zizanioides*)篱每隔 8 m 双行种植, 株、行距分别为 50 cm、50 cm; 香根草篱 + 稻草覆盖, 在香根草篱处理的基础上, 均匀覆盖干稻草 4 500 kg/hm²。各处理 3 次重复, 完全随机排列。采用人工翻地, 翻耕深度为 20 cm, 其他农事管理按当地常规方法进行。各处理基础肥力、花生种植方式和农事操作相同。

该径流小区建成于 2009 年, 沉降一年后开展径流泥沙观测。5 a 的试验结果表明, 与常规耕作相比, 香根草篱、稻草覆盖、香根草篱 + 稻草覆盖处理分别降低地表径流 11.2% ~ 35.1%、30.9% ~ 50.7% 和 41.2% ~ 86.2%; 分别降低土壤侵蚀模数 82.8% ~ 97.5%、92.3% ~ 97.3% 和 94.9% ~ 99.5%, 这 3 种水土保持耕作措施对阻隔红壤坡耕地的水土流失起到了显著作用^[19]。

1.3 观测指标与方法

于 2014 年 5 月采集各小区 0 ~ 20 cm 原状土。采样时, 在各小区按“S”形用土钻取 5 个土样混合, 采用 4 分法保留 1 kg 左右, 装入无菌保鲜袋, 封好袋口并用冰盒保存, 带回实验室备用。取回的新鲜土样在实验室内充分混匀后分成两份, 一份新鲜土样用密闭无菌自封袋保鲜于 4℃ 冰箱内, 用于测定土壤主要微生物类群; 另一份置于通风、荫凉、干燥的室内风干过 2 mm 筛, 用于测定土壤酶活性及其他理化性状。采集土壤样品的同时, 在各小区分上、中、下 3 个坡位用环刀取 0 ~ 20 cm 土层深度的土样, 环刀容积为 100 cm³, 共取 36 个。将取样后的环刀密封, 当天在实验室用电子天平称量, 精度为 0.01 g。

土壤基本理化性质分析方法参照文献[20], 其中, 土壤容重、总孔隙度和毛管孔隙度等采用环刀法, 土壤有机质采用重铬酸钾氧化-外加热法, 全氮采用硫酸-高氯酸消化-水杨酸钠比色法, 碱解氮采用扩散吸收法, 全磷采用硫酸-高氯酸消化-钼锑抗比色法, 速效磷采用盐酸-氟化铵法, 阳离子交换量采用 EDTA-铵盐快速法, 土壤团聚体采用机械筛分法^[20], 颗粒组成采用比重计法, 微团聚体采用吸管法。土壤酶活性采用常规方法, 其中土壤脲酶活性采用苯酚钠比色法测定, 以 24 h 后 1 g 土壤中 NH₃-N 的毫克数表示; 蔗糖酶活性采用 3, 5-二硝基水杨酸比色法测定, 以 24 h 后 1 g 土壤中葡萄糖的毫克数

表示; 酸性磷酸酶采用对硝基酚磷酸二钠比色法, 以 1 h 后 1 g 土壤中对硝基酚的毫克数表示^[21]。土壤主要微生物类群数量采用稀释平板法测定, 其中细菌、放线菌、真菌培养基分别为牛肉膏蛋白胨、高氏一号、孟加拉红^[22]。

于花荚期在各小区取 10 株花生进行农艺性状测量, 获取花生植株的茎、叶、根、果干质量, 主茎高、叶面积、主根长, 以及地上、地下生物量干质量; 花生收获时, 用精度 0.1 g 天平测各小区的花生产量, 并计算每个小区实际种植花生的单位面积产量, 即扣除香根草篱占地后的花生产量(以干质量计)。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 进行数据分析及作图, SPSS Statistics 17.0 数据处理软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 水土保持耕作措施对花生生长和产量的影响

从单株花生农艺特性来看(表 1), 香根草篱 + 稻草覆盖处理能促进花生茎、叶、根、果生长, 除根质量外, 其他各项农艺特性指标值均最大, 从而导致地上生物量、地下生物量和总生物量最大; 稻草覆盖处理能促进花生茎、叶发育, 其主茎长、叶质量、叶面积均较大, 加上其根质量最大, 从而导致地上生物量、地下生物量和总生物量都较大, 仅次于香根草篱 + 稻草覆盖处理; 香根草篱处理与常规耕作处理的花生茎、叶、根、果、生物量等农艺性状指标值相差不大。可以得知, 香根草篱 + 稻草覆盖处理和稻草覆盖处理对花生生长的促进作用较明显。

从单位面积花生产量来看(表 1), 稻草覆盖处理的花生产量最高, 其次是香根草篱 + 稻草覆盖处理, 但两者之间无明显差异($P < 0.05$)。与常规耕作相比, 这 2 种措施的增产量分别为 761.11 kg/hm² 和 460.65 kg/hm², 增产率依次为 71.45% 和 43.24%, 增产显著($P < 0.05$)。香根草篱处理和常规耕作处理的花生产量相近, 差异不显著($P < 0.05$)。由 1.2 节可知, 与常规耕作相比, 稻草覆盖、香根草篱及其组合处理的减流率为 11.2% ~ 86.2%, 减蚀率为 82.8% ~ 99.5%。由此得出, 稻草覆盖和香根草篱 + 稻草覆盖不仅能够阻隔红壤旱坡地水土流失, 而且能够显著提高花生产量; 香根草篱虽然较常规耕作没有明显的增产效果, 但其水土保持效果显著, 故香根草篱的综合效益优于常规耕作。

已有研究表明, 秸秆覆盖有利于促进红壤旱地

作物(花生-大豆轮作)根系和地上部生长,提高作物产量^[13];稻草秸秆覆盖对花生主要农艺性状、经济性状、产量产值及经济效益产生明显的正效应^[23];植物篱建立3 a后,作物增产普遍达30%~60%,采用植物篱技术的坡耕地在不施用化肥的情况下,作物产量比施用化肥的坡耕地高8%~28%^[24]。本试验结果与前人研究结果基本一致,稻

草覆盖、香根草篱+稻草覆盖这2种水土保持耕作措施建立5 a后仍然能促进花生生长,显著提高花生产量;但植物篱单项措施实施5 a后,与常规耕作相比,对花生生长和产量无明显影响,这可能是受花生连作的影响,也间接表明植物篱单一处理对缓解花生连作障碍不如稻草覆盖、香根草篱+稻草覆盖处理明显。

表1 不同水土保持耕作措施类型花生生长状况及产量

Tab.1 Growth characteristics and yield of peanut under different SWC tillage practices

处理	茎质量/ (g·株 ⁻¹)	主茎长/ (cm·株 ⁻¹)	叶质量/ (g·株 ⁻¹)	叶面积/ (cm ² ·株 ⁻¹)	根质量/ (g·株 ⁻¹)	果质量/ (g·株 ⁻¹)	地下生物量/ (g·株 ⁻¹)	地上生物量/ (g·株 ⁻¹)	总生物量/ (g·株 ⁻¹)	产量/ (kg·hm ⁻²)
香根草篱	21.35 ± 17.68 ^a	28.03 ± 7.63 ^a	7.25 ± 4.21 ^a	1962.50 ± 391.03 ^a	7.61 ± 4.62 ^{ab}	7.61 ± 4.62 ^a	28.60 ± 21.88 ^a	15.21 ± 9.23 ^a	43.81 ± 31.12 ^a	1006.22 ± 71.18 ^b
	17.68 ± 6.48 ^a	30.63 ± 9.72 ^a	19.90 ± 15.76 ^a	3811.50 ± 2155.97 ^a	16.71 ± 3.19 ^a	9.97 ± 6.34 ^a	37.57 ± 22.25 ^a	26.67 ± 3.15 ^a	64.24 ± 25.40 ^a	1826.39 ± 44.94 ^a
稻草覆盖	24.65 ± 0.32 ^a	35.73 ± 6.19 ^a	36.06 ± 15.37 ^a	5650.50 ± 1013.28 ^a	6.50 ± 5.75 ^b	26.21 ± 0.05 ^a	60.71 ± 15.69 ^a	32.70 ± 5.70 ^a	93.41 ± 21.39 ^a	1525.93 ± 187.53 ^a
	13.40 ± 9.49 ^a	26.40 ± 9.10 ^a	13.80 ± 9.96 ^a	3618.00 ± 1543.81 ^a	5.60 ± 5.04 ^b	13.56 ± 12.92 ^a	27.19 ± 19.38 ^a	19.15 ± 17.89 ^a	46.35 ± 36.30 ^a	1065.28 ± 257.87 ^b

注:数值为平均值±标准差;同列数据后不同字母表示不同处理在 $P < 0.05$ 水平上差异显著,LSD检验。下同。

2.2 水土保持耕作措施对土壤化学性质的影响

土壤化学属性是土壤质量的重要组成部分,反映土壤的营养状况,是度量土壤生长潜势的指标。红壤旱坡地采用稻草覆盖和香根草篱及其组合等水土保持耕作措施后,与常规耕作相比(表2),水土保持耕作措施土壤养分含量均有不同程度的提高,平均提高了土壤有机质18.47%、全氮34.77%、碱解氮0.84%、全磷12.31%、速效磷32.17%、阳离子交换量(CEC)1.73%。其中,稻草覆盖增加土壤有机质18.67%、全氮28.78%、速效磷32.44%、CEC7.35%,香根草篱增加土壤全氮11.51%、全磷13.85%、速效磷20.56%,香根草篱+稻草覆盖增加土壤有机质36.74%、全氮64.03%、碱解氮5.06%、全磷21.54%、速效磷43.50%。与常规耕作相比,香根草篱+稻草覆盖对土壤化学性状改良效果最明显,除碱解氮、全磷和CEC没有达到显著

水平外,土壤有机质、全氮和速效磷均达到显著水平($P < 0.05$)。已有研究发现,植物篱和秸秆覆盖可以有效地减少径流泥沙及其携带的有效养分^[25];植物篱建立3 a后,土壤有机质增加20%~31%,全氮增加70%~127%^[23];红壤旱地作物行间秸秆覆盖还田有利于提高土壤肥力水平,有机质提高1.8 g/kg、速效氮、钾含量分别较对照提高8.0%和8.1%^[13]。本试验进一步验证了前人的研究结果。

因此,就整体而言,红壤旱坡地采取水土保持耕作措施后,土壤化学性质显著改善,以香根草篱+稻草覆盖的改善效果最佳。这是因为红壤旱坡地采取稻草覆盖、香根草篱及其组合等水土保持耕作措施后,有效地促进了水分就地入渗,减弱了土壤侵蚀作用,降低了土壤养分流失,加之稻草秸秆、香根草凋落物等归还土壤,土壤碳、氮、磷等元素含量增加。

表2 不同水土保持耕作措施类型土壤化学性质

Tab.2 Soil chemical properties of different SWC tillage practices

处理	有机质/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)	速磷/(mg·kg ⁻¹)	CEC/(mmol·kg ⁻¹)
香根草篱	17.35 ± 1.44 ^c	1.55 ± 0.30 ^b	88.67 ± 5.35 ^a	0.74 ± 0.07 ^a	27.91 ± 3.49 ^a	139.74 ± 6.54 ^a
稻草覆盖	20.60 ± 1.89 ^b	1.79 ± 0.06 ^b	93.33 ± 14.57 ^a	0.66 ± 0.11 ^a	30.66 ± 7.09 ^a	154.84 ± 3.90 ^a
香根草篱+稻草覆盖	23.75 ± 1.56 ^a	2.28 ± 0.27 ^a	96.83 ± 17.27 ^a	0.79 ± 0.13 ^a	33.22 ± 4.59 ^a	145.57 ± 13.72 ^a
常规耕作	17.36 ± 0.47 ^c	1.39 ± 0.31 ^b	92.17 ± 14.15 ^a	0.65 ± 0.06 ^a	23.15 ± 2.19 ^b	144.20 ± 9.44 ^a

2.3 水土保持耕作措施对土壤物理性状的影响

土壤物理特征是反映土壤基本性状和结构的指标,是土壤质量评价的基础。不同处理的土壤物理

性状如表3所示。由表3可知,试验区4种处理的土壤总孔隙度均大于50%,非毛管孔隙度都在10%以上,土壤孔隙比在2.05~2.53之间,土壤孔隙状

况良好。试验区红壤酸化贫瘠,结构不良,试验实施5 a后,与常规耕作相比,水土保持耕作措施的土壤容重有所提升,平均提升了5.11%,尤其以稻草覆盖和香根草篱+稻草覆盖处理的改善效果较佳(土壤容重分别达1.22、1.16 g/cm³),接近作物生长发育最适宜的土壤容重水平(1.20 g/cm³);相应地,水土保持耕作措施减小了土壤毛管孔隙度,平均减小了2.80%,从而增加了土壤通气性能。有稻草覆盖处理的土壤容重大于无稻草覆盖处理的土壤容重,

这可能是因为试验区花生种植前翻耕整地,造成土壤破碎和扰动剧烈;而稻草秸秆覆盖既能减少土壤水分蒸发,提高土壤含水率,又能减小地表径流,增加降雨就地入渗,土壤集水效果显著^[26-27],使旱作翻耕后的土壤变得紧实^[28],增加土壤容重。秸秆覆盖对土壤容重的短期效应不明显,与秸秆覆盖效应相比,耕作强度对土壤容重的影响更为显著^[29]。因此,水土保持耕作措施对土壤容重的效应还需长期监测。

表3 不同水土保持耕作措施类型土壤物理性状

Tab.3 Soil physical properties of different SWC tillage practices

处理	容重/ (g·cm ⁻³)	总孔 隙度/%	毛管孔隙 度/%	非毛管孔 隙度/%	0.25~10 mm 团粒 质量分数/%	小于2 μm 微团聚 体质量分数/%	小于0.05 mm 颗粒 质量分数/%	<i>E_{MWD}</i>
香根草篱	1.12 ± 0.04 ^a	55.15 ± 3.27 ^a	37.97 ± 1.14 ^a	17.18 ± 2.22 ^a	93.98 ± 1.42 ^a	9.20 ± 1.87 ^b	94.13 ± 0.74 ^a	1.12 ± 0.53 ^a
	1.22 ± 0.06 ^a	52.13 ± 0.41 ^a	37.30 ± 1.49 ^a	14.83 ± 1.37 ^a	96.74 ± 1.55 ^a	9.56 ± 0.83 ^b	94.24 ± 0.36 ^a	0.84 ± 0.19 ^a
稻草覆盖	1.16 ± 0.03 ^a	56.01 ± 4.11 ^a	36.56 ± 2.00 ^a	19.45 ± 6.02 ^a	96.66 ± 4.06 ^a	13.65 ± 2.14 ^a	93.87 ± 1.59 ^a	0.70 ± 0.14 ^a
	1.11 ± 0.04 ^a	55.96 ± 4.82 ^a	38.35 ± 1.23 ^a	17.61 ± 5.86 ^a	94.11 ± 2.11 ^a	8.91 ± 1.78 ^b	93.40 ± 0.83 ^a	0.98 ± 0.37 ^a

不同处理下土壤小于2 μm 微团聚体质量分数从大到小为:香根草篱+稻草覆盖、稻草覆盖、香根草篱、常规耕作,香根草篱+稻草覆盖处理的土壤小于2 μm 微团聚体质量分数与常规耕作处理的差异显著($P < 0.05$);不同处理下土壤小于0.05 mm 颗粒质量分数从大到小为:稻草覆盖、香根草篱、香根草篱+稻草覆盖、常规耕作。与常规耕作相比,水土保持耕作措施增加了小于0.05 mm 粘粒含量和小于2 μm 微团聚体含量,一定程度改善了土壤质地。各处理土壤总孔隙度、湿筛平均水稳性团粒重量直径(E_{MWD})和0.25~10 mm 团粒含量变化不明显。可知,采取香根草篱、秸秆覆盖及其组合措施有利于保土保水^[2],可以增加土壤中各种胶结物质数量,特别是增加了有机物质,促进了土壤颗粒的团聚作用,加之根系的分割、微生物的分解代谢和土壤动物的活动,使水稳性团聚体和微团粒逐渐从小粒径向大粒径转变,土壤物理结构有所改善。已有研究表明,草篱、秸秆覆盖等水土保持措施对增加土壤有机质、减少粘粒流失、改善土壤团粒结构、提高水稳性团聚体的数量和质量及增强土壤抗侵蚀能力的效果显著^[30-31]。本试验结果表明香根草篱和稻草秸秆覆盖组合措施对土壤物理性状的改善效果较明显,但香根草篱和稻草秸秆覆盖单项措施对土壤物理性状的改善效果不明显。

2.4 水土保持耕作措施对土壤生物学性状的影响

土壤微生物作为土壤养分转化的活性库或源,

其数量可反映土壤微生物活动的强弱和养分的转化速率,是土壤生物质量变化的灵敏指标^[32]。细菌、放线菌和真菌是土壤微生物数量最大的3大类群。由表4可知,不同处理下土壤微生物类群均以放线菌最多,占总微生物类群的比例为51.25%~81.40%;细菌次之,占总微生物类群的15.32%~48.31%;真菌最少,占总微生物类群的0.45%~6.45%;土壤放线菌、细菌在不同处理的土壤微生物群落构成中均占绝对比重,这符合土壤微生物类群数量分布的一般特征。

土壤细菌和放线菌数量以香根草篱+稻草覆盖处理最多,其次是常规耕作处理,香根草篱处理和稻草覆盖处理的细菌和放线菌数量都较少。可见,香根草篱+稻草覆盖处理的土壤细菌和放线菌数量显著多于其他水土保持耕作处理($P < 0.05$)。各处理中土壤真菌数量都非常少,差异均不显著($P < 0.05$)。放线菌、细菌是试验区土壤微生物的主要类群,数量丰富,表明它们繁殖力、竞争力以及土壤养分有效转化能力强于其他类群;真菌数量虽不及放线菌,但其绝对数量也较多,对各处理下物质循环、能量流动具有重要的调控作用。

土壤微生物类群总量增加表明了土壤肥力的提高,土壤微生物类群及种类比例的变化对土壤肥力形成及养分供应具有明显的调节作用。从土壤微生物

物类群总量来看(表4),土壤微生物类群总量以香根草篱+稻草覆盖处理最多,为 7.11×10^5 CFU/g;常规耕作处理次之,为 2.91×10^5 CFU/g;稻草覆盖处理次之,为 2.06×10^5 CFU/g;香根草篱处理土壤微生物总量最少,为 1.80×10^5 CFU/g。可见,香根草篱+稻草覆盖措施下土壤微生物类群总量明显高于常规耕作,也明显高于其他水土保持耕作措施下

土壤微生物类群总量($P < 0.05$)。这是因为,常规耕作水土流失量大,土壤养分随径流泥沙流失量也较大,土壤有机质、全氮、速效磷等营养元素减少,进而影响微生物的生长发育;花生旱坡地采取香根草篱、稻草覆盖双重辅助措施后,土壤有机物质流失减少,土壤透气性和腐殖化作用增强,微生物主要类群数量均呈增加趋势。

表4 不同水土保持耕作措施类型土壤生物学性状
Tab.4 Soil biological properties of different SWC tillage practices

处理	细菌数量/ (CFU·g ⁻¹)	真菌数量/ (CFU·g ⁻¹)	放线菌数量/ (CFU·g ⁻¹)	微生物类群总数/ (CFU·g ⁻¹)	脲酶活性/ (μg·(g·d) ⁻¹)	蔗糖酶活性/ (mg·(g·d) ⁻¹)	酸性磷酸酶活性/ (μg·(g·h) ⁻¹)
香根草篱	(2.76 ± 0.99) × 10 ^{4b}	(5.90 ± 0.28) × 10 ^{3a}	(1.47 ± 1.10) × 10 ^{5b}	(1.80 ± 0.90) × 10 ^{5b}	65.36 ± 3.59 ^a	39.51 ± 37.50 ^a	555.27 ± 174.78 ^b
稻草覆盖	(3.09 ± 0.31) × 10 ^{4b}	(1.33 ± 1.22) × 10 ^{4a}	(1.62 ± 1.23) × 10 ^{5b}	(2.06 ± 1.21) × 10 ^{5ab}	69.86 ± 12.57 ^a	4.59 ± 0.53 ^b	717.07 ± 130.15 ^a
香根草篱+ 稻草覆盖	(3.44 ± 1.79) × 10 ^{5a}	(3.20 ± 0.19) × 10 ^{3a}	(3.65 ± 0.98) × 10 ^{5a}	(7.11 ± 2.22) × 10 ^{5a}	66.74 ± 3.96 ^a	16.94 ± 2.85 ^{ab}	966.25 ± 301.99 ^a
常规耕作	(1.17 ± 1.69) × 10 ^{5a}	(3.70 ± 0.18) × 10 ^{3a}	(1.71 ± 0.91) × 10 ^{5a}	(2.91 ± 2.40) × 10 ^{5b}	70.22 ± 5.38 ^a	4.67 ± 0.31 ^b	648.91 ± 3.67 ^a

注:土壤微生物数量指每克干土中培养出的菌落数。

土壤酶活性的强弱,可直接反映土壤中物质转化状况和肥力水平^[33-34]。由表4可知,不同处理土壤的酸性磷酸酶活性不同。香根草篱+稻草覆盖处理和稻草覆盖处理的土壤磷酸酶活性较大,比常规耕作处理的土壤磷酸酶活性分别提高48.90%和10.50%;香根草篱与常规耕作的土壤蔗糖酶活性相差不大。除稻草覆盖与常规耕作的土壤蔗糖酶活性相差不大外,香根草篱和香根草篱+稻草覆盖的土壤蔗糖酶活性比常规耕作分别增加7.46倍和2.63倍。各处理之间土壤脲酶活性无明显差异($P < 0.05$)。红壤旱坡地属于开放的农田生态系统,经营强度大,表土侵蚀严重,营养元素流失多,土壤有机质和微生物含量较低,其物质代谢速率较慢,蔗糖酶和磷酸酶等酶活性较低;采取水土保持耕作措施后,良好的水分条件和土壤结构有利于微生物的生长,从而促进了土壤物质元素的分解代谢,土壤酶尤

其是蔗糖酶、磷酸酶等水解酶活性增加,表明水土保持耕作措施可以促进土壤中可被植物生长利用的碳、氮、磷源物质的积累。

2.5 土壤特性与花生产量的相关性分析

花生产量与20个土壤特性指标的相关矩阵表明(表5):土壤阳离子交换量(CEC)、土壤容重与花生产量呈显著正相关关系,而其余土壤指标与产量的相关关系均不显著。梁淑敏等^[35]对成都平原试验区作物产量与14个土壤性状指标的相关分析也表明,作物产量与土壤饱和渗水速率、土壤分形维数呈显著负相关关系,与土壤pH值呈显著正相关,与其余土壤性状指标相关性不显著,这与本试验结果基本一致。这主要是因为作物产量受气候条件、施肥管理、土壤理化性质等综合因素的影响,土壤特性不是决定作物产量的唯一因素,故不同处理土壤特性与作物产量的相关性较低。

表5 土壤特性与花生产量的相关系数
Tab.5 Correlation coefficient between soil properties and peanut yield

特性参数	有机质	全氮	碱解氮	全磷	速效磷	CEC	容重	总孔隙度	毛管孔隙度	0.25~10 mm 团粒质量分数
系数	0.569	0.404	0.186	-0.157	0.323	0.703 [*]	0.590 [*]	-0.402	-0.353	0.359
特性参数	小于2 μm 微团聚体质量分数	小于0.05 mm 颗粒质量分数	E_{MWD}	细菌数量	真菌数量	放线菌数量	微生物类群总数	脲酶活性	蔗糖酶活性	酸性磷酸酶活性
系数	0.278	-0.219	-0.066	0.274	0.258	0.101	0.240	0.147	-0.439	0.029

注:* $P < 0.05$ 。

3 结论

(1)红壤花生旱坡地采用稻草秸秆覆盖、香根草植物篱及其组合的水土保持耕作措施后,花生生长和产量变化显著。香根草篱+稻草覆盖和稻草覆盖措施对花生花荚期的农艺生长特性有较好的促进作用,其中,香根草篱+稻草覆盖可促进花生茎、叶、根、果的生长,稻草覆盖可促进花生茎、叶的发育。与常规耕作相比,稻草覆盖和香根草篱+稻草覆盖措施实施5 a后对花生的增产作用仍较明显,增产量分别为761.11、460.65 kg/hm²,增产率分别为71.45%、43.24%;香根草篱措施较常规耕作没有明显地促进花生生长和增产,但减流减蚀效益显著,故其综合效益优于常规耕作。

(2)红壤花生旱坡地采取稻草覆盖、香根草篱及其组合措施5 a后,增加了农地覆盖度,受水土流失减少和有机物归还等影响,土壤物理学、化学和生物学质量呈不同程度的提高,表现为土壤物理结构得到一定程度的改良,化学性质和养分含量显著提高,微生物属性和活性有所增强。总体上,采用香根草篱+稻草覆盖组合措施进行保护性耕作后,土壤特性改善效果最佳。

(3)通过5 a的定位试验,已初步显示出稻草秸秆覆盖、香根草篱及其组合具有良好的土壤改良和作物增产效益。但由于定位年限较短,而土壤特性尤其是物理性状的变化是一个漫长的过程,同时作物生长和产量又受耕作、气候、栽培管理等多种因素影响。因此,要揭示规律还需要有更长时间的定位试验。

参 考 文 献

- 1 史德明,周伏建,徐朋.我国南方土壤侵蚀动态与水土保持发展趋势[J].福建水土保持,1993(3):9-13.
- 2 钟义军,叶川,黄欠如,等.红壤缓坡花生地不同水土保持措施效果分析[J].中国水土保持科学,2011,9(3):71-74. ZHONG Yijun, YE Chuan, HUANG Qianru, et al. Benefit analysis of different soil and water conservation measures at sloping *Arachis hypogaea* land with red soil[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2011, 9(3): 71-74. (in Chinese)
- 3 曹学章,张更生.红壤丘陵脆弱生态环境的形成与整治对策[J].农业生态环境,1995,11(4):45-48. CAO Xuezhang, ZHANG Gengsheng. Formation and control countermeasures for vulnerable eco-environment in hilly red soil area [J]. Rural Eco-Environment, 1995, 11(4): 45-48. (in Chinese)
- 4 赵其国.中国东部红壤地区土壤退化的时空变化、机理及调控[M].北京:科学出版社,2002.
- 5 李辉信,胡锋,徐盛荣.红壤丘陵区不同农业利用和管理方式对土壤肥力的影响[J].土壤通报,1996,27(3):114-116. LI Huixin, HU Feng, XU Shengrong. Effects of different agricultural management practices on soil fertility in red soil hilly region [J]. Chinese Journal of Soil Science, 1996, 27(3): 114-116. (in Chinese)
- 6 AILINCAI C, JITAREANU G, BUCUR D, et al. Influence of tillage practices and fertilization on crop yields and soil properties in long-term crop rotation (soybean-wheat-maize) experiments [J]. International Journal of Food, Agriculture and Environment, 2011, 9(1): 285-289.
- 7 GAISER T, STAHR K, BILLEN N, et al. Modeling carbon sequestration under zero tillage at the regional scale I. The effect of soil erosion [J]. Ecological Modelling, 2008, 218(1-2): 110-120.
- 8 CULLUM R F, WILSON G V, MCGREGOR K C, et al. Runoff and soil loss from ultra-narrow row cotton plots with and without stiff-grass hedges [J]. Soil and Tillage Research, 2007, 93(1): 56-63.
- 9 SALVADOR-BLANES S, CORNU S, COUTURIER A, et al. Morphological and geochemical properties of soil accumulated in hedge-induced terraces in the Massif Central, France [J]. Soil and Tillage Research, 2006, 85(1-2): 62-77.
- 10 RAFFAELLE J B, MCGREGOR K C, FOSTER G R, et al. Effect of narrow grass strips on conservation reserve land converted to cropland [J]. Transactions of the ASAE, 1997, 40(6): 1581-1587.
- 11 CHAUBEY I, EDWARDS D R, DANIEL T C, et al. Effectiveness of vegetative filter strips in controlling losses of surface-applied poultry litter constituents [J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(6): 1687-1692.
- 12 李德明,刘琼峰,吴海勇,等.不同耕作方式对红壤旱地土壤理化性状及玉米产量的影响[J].生态环境学报,2009,18(4):1522-1526. LI Deming, LIU Qiongfeng, WU Haiyong, et al. Effects of different cultivation on soil physico-chemical properties of upland red soils and maize yield [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(4): 1522-1526. (in Chinese)
- 13 彭春瑞,陈先茂,钱银飞.秸秆覆盖对红壤旱地作物生长及土壤质量的影响[J].中国农业气象,2011,32(增刊1):51-54. PENG Chunrui, CHEN Xianmao, QIAN Yinfei. Effects of straw mulching on the crop growth and soil quality of red upland soil [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2011, 32(Supp. 1): 51-54. (in Chinese)
- 14 林超文,庞良玉,陈一兵,等.牧草植物篱对紫色土坡耕地水土流失及土壤肥力空间分布的影响[J].生态环境,2008,17(4):1630-1635. LIN Chaowen, PANG Liangyu, CHEN Yibing, et al. Effects of forage hedgerows on soil erosion and soil fertility on sloping farmland in the purple soil area [J]. Ecology and Environment, 2008, 17(4): 1630-1635. (in Chinese)
- 15 蒲玉琳,林超文,谢德体,等.植物篱-农作坡地土壤团聚体组成和稳定性特征[J].应用生态学报,2013,24(1):122-128. PU Yulin, LIN Chaowen, XIE Deti, et al. Composition and stability of soil aggregates in hedgerow-crop slope land [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(1): 122-128. (in Chinese)
- 16 王增丽,冯浩,余坤,等.轮作条件下秸秆施用方式对农田水分及作物产量的影响[J].农业机械学报,2013,44(12):114-119. WANG Zengli, FENG Hao, YU Kun, et al. Effects of different straw utilization on farmland moisture and crop yield with rotation

- of summer maize and winter wheat[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(12): 114 - 119. (in Chinese)
- 17 刘连华, 陈源泉, 杨静, 等. 免耕覆盖对不同质地土壤水分与作物产量的影响[J]. 生态学杂志, 2015, 34(2): 393 - 398.
LIU Lianhua, CHEN Yuanquan, YANG Jing, et al. Effects of no-tillage with straw mulching on soil moisture and crop yield in soils with different textures[J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(2): 393 - 398. (in Chinese)
- 18 郑智旗, 王树东, 何进, 等. 耕作措施对京郊冬小麦农田 CO₂、CH₄排放通量的影响[J]. 农业机械学报, 2014, 45(增刊): 189 - 195.
ZHENG Zhiqi, WANG Shudong, HE Jin, et al. Influences of tillage methods on carbon dioxide and methane fluxes from winter wheat fields in Beijing's suburb[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(Supp.): 189 - 195. (in Chinese)
- 19 成艳红, 武琳, 孙慧娟, 等. 稻草覆盖和香根草篱对红壤水稳性团聚体组成及有机碳含量的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(12): 1 - 7.
CHENG Yanhong, WU Lin, SUN Huijuan, et al. Effects of straw mulching and vetiver grass hedgerows on the size distribution of the soil water stable aggregates and aggregate-associated organic carbon in red soil[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(12): 1 - 7. (in Chinese)
- 20 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- 21 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科技出版社, 1978.
- 22 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- 23 徐春, 胡腾文, 李正强. 不同覆盖方式对花生农艺特性及产量产值构成的影响[J]. 耕作与栽培, 2008(3): 17 - 18.
- 24 孙辉, 唐亚, 陈克明, 等. 固氮植物篱防治坡耕地土壤侵蚀效果研究[J]. 水土保持通报, 1999, 19(6): 1 - 6.
SUN Hui, TANG Ya, CHEN Keming. Effect of contour hedgerow system on slope lands erosion control[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1999, 19(6): 1 - 6. (in Chinese)
- 25 涂仕华, 陈一兵, 朱青, 等. 经济植物篱在防治长江上游坡耕地水土流失中的作用及效果[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 1 - 5.
TU Shihua, CHEN Yibing, ZHU Qing, et al. Role and effect of cash crop hedgerows on controlling soil and water losses from sloping farmlands in the upper reaches of Yangtze River[J]. Journal of Soil Water Conservation, 2005, 19(6): 1 - 5. (in Chinese)
- 26 王珍, 冯浩. 秸秆不同还田方式对土壤入渗特性及持水能力的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 75 - 80.
WANG Zhen, FENG Hao. Effect of straw-incorporation on soil infiltration characteristics and soil water holding capacity[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(4): 75 - 80. (in Chinese)
- 27 赵红香, 迟淑筠, 宁堂原, 等. 科学耕作与留茬改良小麦-玉米两熟农田土壤物理性状及增产效果[J]. 农业工程学报, 2013, 29(9): 113 - 122.
ZHAO Hongxiang, CHI Shuyun, NING Tangyuan, et al. Covering farming pattern to improve soil physical properties and crop yield in wheat-maize cropping system[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(9): 113 - 122. (in Chinese)
- 28 SACCO D, CREMON C, ZAVATTARO L, et al. Seasonal variation of soil physical properties under different water managements in irrigated rice[J]. Soil and Tillage Research, 2012, 118: 22 - 31.
- 29 郑杰炳, 王子芳, 谭显龙, 等. 丘陵紫色土区土地利用方式对土壤剖面理化性质影响研究[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(3): 101 - 106.
ZHENG Jiebing, WANG Zifang, TAN Xianlong, et al. Effects of land use patterns on the physico-chemical properties of the soil profile in purple hilly areas[J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2008, 30(3): 101 - 106. (in Chinese)
- 30 黄丽, 蔡崇法, 丁树文, 等. 几种绿篱梯田中紫色土有机质组分及其性质的研究[J]. 华中农业大学学报, 2000, 19(6): 559 - 562.
HUANG Li, CAI Chongfa, DING Shuwen, et al. Study on the components of organic matter and its properties of purple soil in several hedgerow terraces[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2000, 19(6): 559 - 562. (in Chinese)
- 31 郭伟, 史志华, 陈利顶, 等. 红壤表土团聚体粒径对坡面侵蚀过程的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2516 - 2522.
GUO Wei, SHI Zhihua, CHEN Lidong, et al. Effects of topsoil aggregate size on runoff and erosion at hillslope in red soils[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(6): 2516 - 2522. (in Chinese)
- 32 薛蕙, 刘国彬, 张超, 等. 黄土高原丘陵陵区改梯后的土壤质量效应[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 310 - 316.
XUE Sha, LIU Guobin, ZHANG Chao, et al. Effects of terracing slope cropland on soil quality in Hilly Region of Loess Plateau[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4): 310 - 316. (in Chinese)
- 33 PETERSEN S O, FROHNE P S, KENNEDY A C. Dynamics of a soil microbial community under spring wheat[J]. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66(3): 826 - 833.
- 34 罗世琼, 黄建国, 袁玲. 野生黄花蒿土壤的养分状况与微生物特征[J]. 土壤学报, 2014, 51(4): 868 - 879.
LUO Shiqiong, HUANG Jianguo, YUAN Ling. Nutrients and microorganisms in soils with wild *Artemisia annua* L. [J]. Acta Pedologica Sinica, 2014, 51(4): 868 - 879. (in Chinese)
- 35 梁淑敏, 谢瑞芝, 汤永禄, 等. 成都平原不同耕作模式的农田效应研究 I. 对土壤性状及作物产量的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(19): 3988 - 3996.
LIANG Shumin, XIE Ruizhi, TANG Yonglu, et al. Effects of tillage systems on fields in Chengdu Plain I. The effects of tillage systems on soil properties and crop yields[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(19): 3988 - 3996. (in Chinese)